Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 4, Oct- Nov 2017, p. 469-479

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 4، مهر - آبان 1396، ص. 479-469

تأثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی بر ویژگی‌های فیزیکی، رئولوژیکی، بافتی و ارگانولپتیکی بستنی نیم‌چرب

حسین جوینده[1]*- عرفان دانش[2]- مصطفی گودرزی[3]

تاریخ دریافت: 1394/08/06
تاریخ پذیرش: 1395/01/28

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی اثر غلظت‌های مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز (صفر، 2، 4 و 6 واحد به ازای هر گرم پروتئین شیر) بر ویژگی‌های فیزیکی (سرعت ذوب و اوران)، رئولوژیکی، بافت و خواص حسی بستنی نیم‌چرب (5% چربی) بود. نتایج حاصل از آنالیز آماری نشان داد که تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز موجب افزایش اوران و میزان مقاومت به ذوب نمونه‌های بستنی نسبت به نمونه شاهد نیم‌چرب (5% چربی و بدون آنزیم) شده است. بررسی پارامترهای رئولوژیکی نیز حاکی از این بود که افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز موجب افزایش میزان ضریب قوام و نزدیک شدن شاخص رفتار جریان به صفر و در نتیجه افزایش ویژگی شل‌شوندگی با برش شده است. یافته‌های آماری آنالیز بافت نشان داد که تیمار ترانس‌گلوتامیناز، باعث کاهش سفتی و قوام و افزایش چسبندگی بستنی نیم‌چرب می‌شود. بر اساس نتایج ارزیابی حسی، تیمار آنزیمی باعث افزایش مقبولیت کلی بستنی نیم-چرب نزد مصرف‌کنندگان شد. در مجموع و با در نظر گرفتن تمامی ویژگی‌های فیزیکی، رئولوژیکی، بافتی و ارگانولپتیکی می‌توان عنوان داشت که نمونه حاوی 4 واحد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز از کیفیت بالاتری نسبت به سایر تیمارها بویژه نمونه شاهد نیم‌چرب برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: بستنی نیم‌چرب، ترانس‌گلوتامیناز میکروبی، رفتار جریانی، سفتی، ضریب افزایش حجم، مقاومت به ذوب

مقدمه

بستنی عبارت است از یک سیستم پیچیده کف‌مانند، که در آن حباب‌های کوچک گاز (هوا) لابه‌لای یک فاز پیوسته که به‌صورت جزئی منجمد شده است، پراکنده‌اند. در این فاز، چربی به‌صورت امولسیون، قوام‌دهنده‌ها و مواد جامد بدون چربی[4] (MSNF) به‌صورت کلوئیدی و قندها و نمک‌ها یک محلول حقیقی را تشکیل می‌دهند (مرتضوی و همکاران، 1374). هرکدام از این بخش‌ها به‌گونه‌ای روی بافت و کیفیت محصول نهایی تاثیر می‌گذارند (Byars، 2002). در این میان، چربی شیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و مقدار آن باید با توجه به استانداردهای موجود در انواع بستنی کنترل شود. بستنی‌های که امروزه به بازار عرضه می‌شوند دارای سطوح متفاوتی از چربی می‌باشند. سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا، در جهت نظارت بر واحدهای تولیدی، با توجه به مقدار چربی بستنی‌ها، آن‌ها را به پنج دسته تقسیم و برای هر کدام تعاریفی ارائه کرده است. بر اساس این تعاریف، بستنی معمولی عموما دارای 10% چربی است و بستنی با چربی کاهش‌یافته[5] و بستنی سبک[6] به بستنی گفته می‌شود که چربی آن به ترتیب 25% و 50% از چربی بستنی معمولی کمتر باشد. بستنی کم‌چرب[7] و بستنی بدون چربی[8] نیز به بستنی گفته می‌شود که میزان چربی آن‌ها به ترتیب بین 2 تا 4 درصد و کمتر از 0/8 درصد باشد (Marshall و همکاران، 2003). نقش تغذیه‌ای چربی شیر در فرمولاسیون بستنی، تامین انرژی، اسیدهای چرب ضروری و ویتامین‌های محلول در چربی است و از لحاظ تکنولوژیکی نیز روی خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی آن اثر می‌گذارد (Marshall & Arbuckle، 2005). مهم‌ترین نقش تکنولوژیکی چربی در بستنی، پایدار کردن حباب‌های هوا و کمک به تثبیت کف است (چگینی و

1 و 2- به‌ترتیب دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
3- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران
(* - نویسنده مسئول: Email: hosjooy@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.50914
4 Milk Solid Non Fat
5 Reduced-fat ice cream
6 Light ice cream
7 Low-fat ice cream
8 Non fat ice cream

مشکات، 1386). بررسی‌ها نشان می‌دهد که گلبول‌های چربی به طور ثابت، در حین انجماد ناپایدار شده، به یکدیگر می‌پیوندند و روی سطح حفره‌های هوایی متراکم می‌شوند و این امر موجب ایجاد قوام و پوشانندگی دهانی مناسب می‌گردد (Marshall & Arbuckle، 2005). در سال‌های اخیر تلاش‌های بسیاری جهت کاهش یا حذف چربی بستنی در جهت تولید محصولات غذایی سالم‌تر صورت پذیرفته است. با پایین آمدن میزان چربی، مشکلات زیادی در فرایند تولید و نگهداری بستنی ایجاد می‌شود. مشکلاتی نظیر افزایش سرعت ذوب بستنی، تشکیل کریستال‌های درشت یخ و یا ایجاد ظاهر شفاف و آبکی در بستنی‌های کم‌چرب، از جمله مواردی هستند که لازم است برای رفع آنها چاره‌اندیشی شود. برخی از تولیدکنندگان برای غلبه بر این مشکلات روی به استفاده از جانشین‌های چربی آورده‌اند، با این حال، نتایج پژوهش‌های حاکی از عدم رضایت کامل مصرف‌کنندگان از ویژگی‌های ارگانولپتیک بستنی‌های کم‌چرب یا بدون چربی حاوی جایگزین‌های چربی مانند صمغ‌ها و هیدروکلوئیدهای مختلف می‌باشد (Farshadfar و همکاران، 2003).

طی سال‌های اخیر استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی به‌منظور بهبود ویژگی‌های حسی و بافت محصولات لبنی کم‌چرب از جمله ماست و پنیر توسعه پیدا کرده است. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز یک آسیل‌ترانسفراز است که می‌تواند واکنش‌هایی مانند ایجاد اتصالات عرضی، انتقال آسیل و دآمیداسیون را کاتالیز یا تسریع کند. هنگامی که اسیدآمینه لیزین پذیرنده آسیل باشد، واکنش انتقال آسیل بین گروه Y– کربوکسی‌آمید اسید آمینه گلوتامین و گروه آمین نوع اول در اسیدامینه لیزین منجر به تشکیل پیوند عرضی گلوتامین – لیزین می‌شود (Gaspar & de Góes-Favoni، 2015). در میان پروتئین‌های موجود در فرمولاسیون بستنی، کاپا و بتا کازئین سوبسترای مناسب‌تری برای آنزیم ترانس‌گلوتامیناز می‌باشند (Rossa و همکاران، 2011). اما پروتئین‌های آب‌پنیر شامل آلفالاکتالبومین و بتالاکتوگلوبولین، در صورتی سوبسترای مناسبی برای آنزیم ترانس‌گلوتامیناز می‌باشند که با استفاده از پیش‌تیمار حرارتی دناتوره شوند (Rodriguez-Nogales، 2006). تصور می‌شود که آنزیم ترانس‌گلوتامیناز می‌تواند با ایجاد یک شبکه پروتئینی مستحکم و همگن، خصوصیات بستنی کم‌چرب را به بستنی پرچرب نزدیک کند (Rossa و همکاران، 2011). Rossa و همکاران (2011) با استناد به نتایج حاصل از آزمون الکتروفورز، نشان دادند که تیمار آنزیمی شیر حرارت دیده مورد استفاده برای بستنی‌سازی با ترانس‌گلوتامیناز میکروبی، منجر به ایجاد پیوندهای عرضی پروتئین‌های شیر با یکدیگر و تشکیل ساختارهایی با وزن مولکولی بالاتر می‌شود که در نتیجه آن، ویسکوزیته و قوام بستنی پرچرب ارتقا یافته و رفتار سودوپلاستیک آن تقویت می‌شود. این پژوهشگران در مطالعه دیگری (2012) در ارتباط با بررسی تاثیر تیمار آنزیمی شیر بستنی‌های با درصد چربی مختلف با غلظت ثابتی از ترانس‌گلوتامیناز (4 واحد به ازای هر گرم پروتئین شیر)، عنوان داشتند که بهبود مقاومت به ذوب، ضریب افزایش حجم[1] و کاهش سفتی در ارتباط با نمونه‌های تیمارشده دارای چربی کمتر، چشمگیرتر بوده است. تاکنون پژوهشی در ارتباط با تیمار شیر کم‌چرب با غلظت‌های مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی و تاثیر آن بر ویژگی‌های مختلف بستنی‌های حاصله صورت نپذیرفته است. بر این اساس هدف از پژوهش پیش‌رو، بررسی اثر غلظت‌های مختلف (صفر، 2، 4 و 6 واحد به ازای هر گرم پروتئین شیر) آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر ویژگی‌های فیزیکی (سرعت ذوب و اوران)، رئولوژیکی، بافتی و ارگانولپتیکی بستنی نیم‌چرب، در جهت دستیابی به محصولی با ویژگی‌های مطلوب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

مواد مورد استفاده در تولید بستنی‌های پژوهش جاری شامل شیر (3% چربی و 8/5 % ماده خشک بدون چربی) و خامه (30% چربی) از کارخانه لبنیات میهن، شیر خشک بدون چربی (1% چربی و 96% ماده خشک) از شرکت پگاه مشهد، ترکیب پایدارکننده-امولسیفایر از شرکت Sunrose، و شکر و وانیلین از فروشگاه‌های معتبر محلی تهیه شدند. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (EC ۱۳،۲،۳،۲) با میانگین فعالیت 100 واحد در گرم از شرکت BDF Natural Ingredients، اسپانیا تهیه شد.

تولید بستنی

فرمولاسیون بستنی شامل 5% چربی، 17% شکر، 7% شیر خشک بدون چربی، 1% مخلوط پایدارکننده- امولسیفایر و 0/1% وانیلین به‌عنوان طعم‌دهنده بود. جهت تهیه مخلوط بستنی، شیر و خامه، پس از توزین تا رسیدن به میزان چربی 5% با هم مخلوط شدند. مخلوط شیر با چربی تنظیم شده به مدت 15 دقیقه در دمای 78 درجه سانتی‌گراد به هدف دناتوره شدن پروتئین‌های شیر حرارت داده شد و پس از سرد شدن تا دمای 40 درجه سانتی‌گراد، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در سطوح صفر، 2، 4 و 6 واحد به ازای گرم پروتئین شیر، به آن اضافه شد و به مدت 90 دقیقه (زمان بهینه اثر آنزیم) در این دما نگهداری شد. بعد از مرحله انکوباسیون، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز تحت تیمار حرارتی 80 درجه سانتی‌گراد به مدت 2 دقیقه، غیر فعال گردید (Rossa و همکاران، 2011). سپس مخلوط مواد خشک (شکر، وانیل، شیرخشک، مخلوط امولسیفایر و پایدارکننده) به آن اضافه شد و به‌وسیله همزن کاملا مخلوط گردید. پاستوریزاسیون مخلوط حاصل در

---

1 Overrun

دمای 80 درجه سانتی‌گراد به مدت 25 ثانیه انجام گرفت. پس از پایان پاستوریزاسیون، مخلوط سریعا سرد شده و در دمای 4 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت مرحله رسیدن را طی کرد. عملیات انجماد بستنی به‌وسیله دستگاه بستنی‌ساز غیرمداوم (Moulinex type A85، ایتالیا) به مدت 35 دقیقه انجام گرفت و بستنی در ظروف لیوانی 120 گرمی به ارتفاع 5 سانتی‌متر پر گردید. نمونه‌های تولیدی در فریزر 18- درجه سانتی‌گراد تا هنگام انجام آزمایشات نگهداری شدند. شایان ذکر است که نمونه بستنی با 5% چربی و بدون افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز طبق فرمولاسیون و روش ذکر شده، تولید و به‌عنوان نمونه شاهد نیم‌چرب در نظر گرفته شد. آزمون‌های مربوط به خصوصیات رئولوژیکی بستنی، در ارتباط با مخلوط بستنی رسیده و سایر آزمون‌ها در ارتباط با بستنی منجمدشده انجام گرفت. کلیه آزمون‌ها در سه تکرار انجام پذیرفت و میانگین نتایج در آنالیز داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

پروتئین و چربی

ویژگی‌های شیمیایی شیر مورد استفاده در بستنی‌سازی با استفاده از دستورالعمل‌های AOAC (2000) اندازه‌گیری شد. بر این اساس چربی به روش ژربر و پروتئین توسط روش کلدال (حاصلضرب مقدار نیتروژن اندازه‌گیری شده در فاکتور 6/38) تعیین شد.

ضریب افزایش حجم

به‌منظور اندازه‌گیری ضریب افزایش حجم، از روش وزنی با مقایسه وزن حجم مشخصی از بستنی استفاده شد. برای این منظور، از بستنی نیم‌چرب شاهد و تیمارشده با ترانس‌گلوتامیناز، پیش و پس از انجماد در بستنی‌ساز، نمونه‌برداری شد و با استفاده از رابطه شماره‌ی 1 ضریب افزایش حجم محاسبه گردید (Wildmoser و همکاران، 2004).

(1) 100 × (وزن نمونه بعد از انجماد/ (وزن نمونه بعد از انجماد- وزن نمونه قبل از انجماد))= افزایش حجم

سرعت ذوب

سرعت ذوب طبق روش Lee و White (1991) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های بستنی (120 گرم) بر روی یک توری با قطر سوراخ 2 میلی‌متر که به داخل یک سیلندر مدرج زهکشی شده بود، قرار داده شدند و به آنها اجازه داده شد در دمای 25 درجه سانتی‌گراد ذوب شوند. وزن زهکشی شده در بازه‌های زمانی ده دقیقه اندازه‌گیری شد و به‌عنوان تابعی از زمان محاسبه گردید.

آزمون رئولوژی

خصوصیات رئولوژیک نمونه‌های مخلوط بستنی به‌وسیله دستگاه رئومتر Physica Anton Paar (MCR 301، اتریش) مجهز به هندسه استوانه‌های هم‌مرکز انجام شد. رئومتر مجهز به یک سیرکولاتور حرارتی برای انجام آزمون بود. مخلوط بستنی پس از طی دوره رسیدن، در سیلندر دستگاه ریخته شد و توسط سیرکولاتور به دمای 0/1± 4 درجه سانتی‌گراد رسید. سپس دامنه مشخصی از سرعت برشی ($2\ S^{-1}$ تا $100S^{-1}$) بر نمونه‌ها اعمال شد. مدل قانون توان (رابطه 3) برای محاسبه شاخص رفتار جریان (n) و ضریب قوام (k) مورد استفاده قرار گرفت (Daw & Hartel، 2015). در این رابطه τ تنش برشی (Pa)، سرعت برشی (1/s)، K ضریب قوام ($Pa.s^{(n)}$) و n شاخص رفتار جریان می‌باشد.

$$\tau = K\ (\dot{\gamma})^n \qquad (2)$$

بافت

برای انجام این آزمون، ابتدا نمونه‌های نگه‌داری شده در فریزر، به مدت 5 دقیقه در دمای محیط قرار گرفتند. آنالیز بافت توسط دستگاه سنجش بافت[1] (Stable Micro System، مدل TA.XT.PLUS، انگلستان) با استفاده از پروپ شماره P/5S، انجام گرفت. پروپ دستگاه با سرعت 2 میلی‌متر بر ثانیه تا عمق 15 میلی‌متری نمونه‌های بستنی نفوذ کرد. بیشترین نیروی تراکمی طی نفوذ بعنوان سختی[2] و سطح بیشرین نیروی منفی طی برگشت پروپ به‌عنوان چسبندگ[3] در نظر گرفته شد. همچنین قوام[4] بصورت سطح زیر منحنی تا رسیدن به تغییر شکل تعریف شد (BahramParvar و همکاران، 2013).

ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی نمونه‌های بستنی شامل طعم (تازگی، عاری بودن از طعم پختگی)، رنگ (سفیدی)، بافت (نرمی، یکنواختی، عاری بودن از عیوب صمغی، شنی و یخی)، و پذیرش کلی (ارزیابی کلی طعم، رنگ و بافت) بوسیله یک پانل ارزیاب آموزش‌دیده 10 نفره مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی ویژگی‌های حسی از روش هدونیک پنج نقطه‌ای استفاده شد که رتبه‌بندی آن شامل بسیار خوب (5 امتیاز)، خوب (4 امتیاز)، متوسط (3 امتیاز)، ضعیف (2 امتیاز) و بسیار ضعیف (1 امتیاز) بود (Marshall و همکاران، 2003).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

این پژوهش در قالب یک طرح کاملا تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه 9/2) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تمام

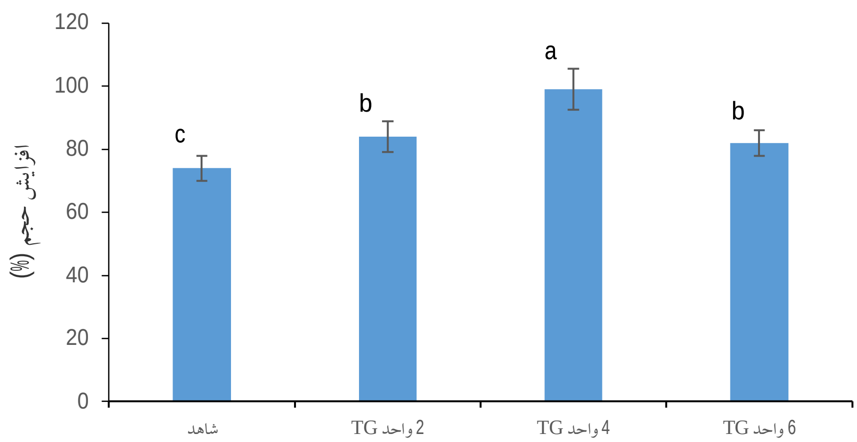
1 Texture Analyzer
2 Hardness
3 Adhesiveness
4 Consistency

آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد و برای مقایسه میانگین ویژگی‌های مختلف از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 95% استفاده گردید. همچنین برازش داده‌های تجربی به مدل‌های رفتار جریانی و رسم نمودارها، با استفاده از نرم‌افزار اکسل 2013 صورت پذیرفت

نتایج و بحث

ضریب افزایش حجم

ضریب افزایش حجم یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر کیفیت حسی بستنی و از اصلی‌ترین عوامل شکل‌گیری بافت و ساختار منحصر به فرد بستنی می‌باشد. افزایش حجم بستنی نسبت به حجم مخلوط اولیه، به دلیل ورود هوا در جریان فرآیند هم‌زدن و انجماد می‌باشد و تابعی از فرمولاسیون و چگونگی فرآیند تولید بستنی می‌باشد (Marshall و همکاران، 2003). نتایج آنالیز آماری نشان داد که میزان ضریب افزایش حجم نمونه‌های بستنی بین 58 تا 83 درصد متغیر است (شکل 1). با افزایش میزان آنزیم ترانس‌گلوتامیناز تا 4 واحد به ازای گرم پروتئین شیر، میزان افزایش حجم نمونه‌های بستنی نسبت به نمونه شاهد نیم‌چرب افزایش معنی‌داری پیدا کرد. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز با کمک به شکل‌گیری پیوندهای درون و بین مولکولی کازئین‌ها و پروتئین‌های آب‌پنیر، در تقویت ساختارهای پروتئینی قبلی و یا ایجاد ساختارهای شبکه‌مانند جدید، شرکت می‌جوید که احتمالا در نتیجه آن، قابلیت مخلوط بستنی در حفظ هوای تلفیق شده به فرمولاسیون (اوران)، بهبود می‌یابد. Rossa و همکاران (2011) نشان دادند که باندهای متعلق به بتا و کاپاکازئین، آلفالاکتولبومین و بتالاکتوگلبولین در ژل الکتروفورز مخلوط بستنی تیمارشده با ترانس‌گلوتامیناز نسبت به نمونه کنترل به مراتب کم‌رنگ‌تر است و در عوض، باندهای جدیدی متعلق به پلیمرهایی با وزن مولکولی بالاتر در الکتروگرام آن پدیدار شده است. این نتایج را به می‌توان به‌عنوان تاییدی بر احتمال تشکیل پیوندهای درون و بین مولکولی پروتئین‌های شیر در نتیجه تیمار آنزیمی با ترانس‌گلوتامیناز در نظر گرفت. در غلظت 6 واحد آنزیم، ضریب افزایش حجم یک کاهش جزئی از خود نشان داد که دلیل آن احتمالا ویسکوزیته بالای مخلوط بستنی در نتیجه ایجاد ساختارهای بسیار مستحکم پروتئینی در غلظت‌های بالای آنزیم می‌باشد (Gaspar & de Góes-Favoni، 2015). در برخی از پژوهش‌هایی که در زمینه بررسی کارایی هیدروکلوئیدهای مختلف به‌عنوان پایدارکننده بستنی صورت پذیرفته نیز، کاهش اوران در نتیجه افزایش چشمگیر ویسکوزیته، گزارش شده است (بهرام پرور و همکاران، 1390 و Martinou-Voulasiki & Zerfiridis، 1990). گفته می‌شود که یکی از کارکردهای ویسکوزیته در مخلوط بستنی، جلوگیری از بهم پیوستن حباب‌های هوا و خروج آنها از محصول و بدین ترتیب حفظ اوران یا همان افزایش حجم ایجاد شده می‌باشد (Bahramparvar & Mazaheri Tehrani، 2011). حال اگر ویسکوزیته از حدی بیشتر شود، فرآیند هم‌زدن مخلوط بستنی طی فرآیند تولید دشوار شده (Kaya & Tekin، 2001) و هوا به اندازه کافی وارد بافت نخواهد شد و در نتیجه اوران کاهش خواهد یافت. بر اساس این فرضیات، تاثیر دوگانه افزایش ویسکوزیته بر میزان افزایش حجم بستنی قابل توجیه خواهد بود.

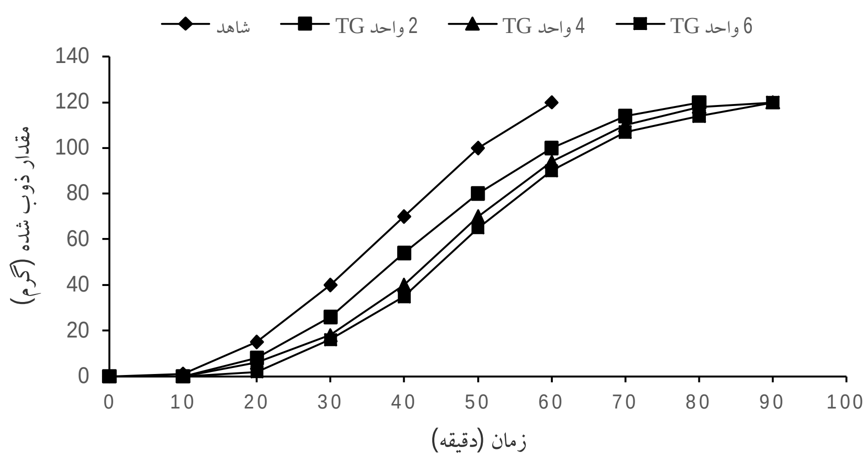


شکل 1- ضریب افزایش حجم بستنی نیم‌چرب شاهد و نمونه‌های تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز

سرعت ذوب

سرعت ذوب بستنی با عوامل متعددی از جمله اندازه کریستال یخ، مقدار و اندازه سلول‌های هوا و به‌ویژه، اندازه گلبول‌های چربی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Goff & Hartel، 2013). پروفیل ذوب

نمونه‌های بستنی تیمار شده با غلظت‌های مختلف آنزیم ترانس-گلوتامیناز در شکل 2 نشان داده شده است. سرعت ذوب بستنی با استفاده از معادله خطی حاصل از منحنی‌های ذوب مشخص شد. بر اساس یافته‌های بدست آمده، بالاترین سرعت ذوب شدن مربوط به نمونه شاهد نیم‌چرب بود و نمونه بستنی حاوی 6 واحد آنزیم ترانس-گلوتامیناز کمترین سرعت ذوب را داشت (جدول 1). نگاهی به پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه دسرهای لبنی نشان می‌دهد که بستنی‌های کم‌چرب معمولا از اورران بیشتری نسبت به همتایان پرچرب خود برخوردار می‌باشند چرا که ویسکوزیته کمتر آنها، ورود هوا به مخلوط بستنی و به دنبال آن افزایش حجم را تسهیل می‌کند با این حال، همین ویسکوزیته کم، ممکن است منجر به ایجاد دیگر نقص-های بافتی محصول شود چرا که مقاومت به ذوب از رابطه مستقیم و تنگاتنگی با ویسکوزیته برخوردار می‌باشد. در طی ذوب شدن، حرارت محیط تدریجا از قسمت خارجی به قسمت داخلی بستنی نفوذ کرده و موجب ذوب شدن کریستال‌های یخ می‌شود. آب حاصل از ذوب کریستال‌های یخ، در فاز سرمی غیرمنجمد پخش شده و سپس مخلوط رقیق‌شده از بین ساختار کفی بستنی جریان یافته و در انتها، اصطلاحا چکه می‌کند (امیری و احمدی، 1393). بر این اساس، ویسکوزیته بالاتر بستنی موجب کاهش تحرک مولکول‌های آب و حرکت آزادانه آنها میان مولکول‌های مخلوط می‌شوند و بدین ترتیب باعث بهبود مقاومت به ذوب بستنی می‌شود. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز نیز، احتمالا با ایجاد یک شبکه مستحکم و همگن بین کازئین‌ها و پروتئین‌های آب‌پنیر، موجبات افزایش ویسکوزیته را فراهم کرده که در نتیجه آن، پایداری نمونه‌ها افزایش یافته و مقاومت آن‌ها به ذوب شدن در مقایسه با نمونه شاهد نیم‌چرب افزایش پیدا کرده است (Rossa و همکاران، 2012).



شکل 2- پروفیل ذوب شدن بستنی نیم‌چرب شاهد و نمونه های تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز

جدول 1- سرعت ذوب بستنی نیم‌چرب شاهد و نمونه‌های تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز

نمونه	سرعت ذوب (گرم بر دقیقه)	ضریب تعیین (R^2)
شاهد نیم‌چرب	2/18±0/13 [a]	0/95
2 واحد آنزیم TG	1/76±0/08 [b]	0/96
4 واحد آنزیم TG	1/62±0/04 [c]	0/95
6 واحد آنزیم TG	1/60±0/02 [c]	0/94

حروف انگلیسی متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری در سطح 95% می‌باشد

ویژگی‌های رئولوژیکی

ویسکوزیته مخلوط بستنی یک پارامتر مهم در تعیین رفتار جریان می‌باشد (Goff و همکاران، 1994). شکل 3، تغییرات ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های مخلوط بستنی را به موازات افزایش سرعت برشی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل قابل مشاهده است، با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته تمامی نمونه‌ها کاهش پیدا کرد. این موضوع نشان‌دهنده رفتار سودوپلاستیک یا شل‌شونده با برش[1] مخلوط‌های بستنی است. علت بروز این رفتار، هم‌راستا شدن

1 Shear thinning

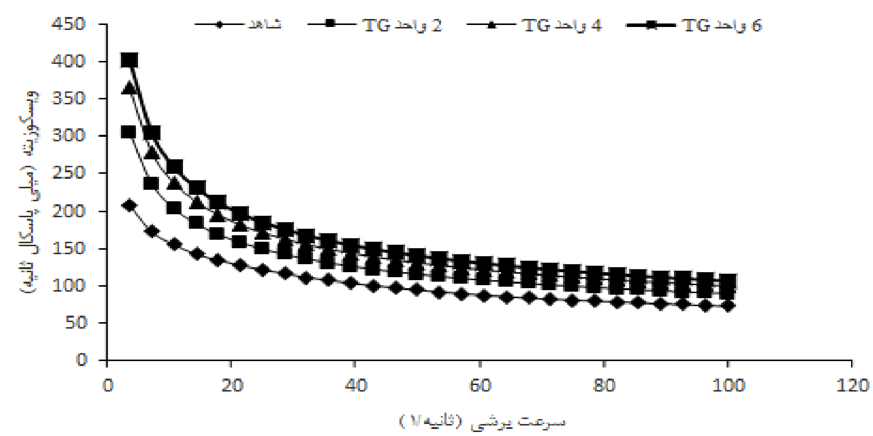
مولکول‌ها و افزایش اصطکاک داخلی با افزایش سرعت برشی می‌باشد (Goff و همکاران، 1994). رفتار سودوپلاستیک مخلوط بستنی پیش از این توسط Aime و همکاران (2001) و نیز González-Tomás و همکاران (2008) گزارش شده بود. اما نکته جالب توجه در این پژوهش، تقویت رفتار سودوپلاستیک بستنی در نتیجه تیمار با ترانس‌گلوتامیناز می‌باشد. همانطور که در جدول 2 قابل مشاهده است، با افزایش غلظت ترانس‌گلوتامیناز، شاخص رفتار جریان به صفر نزدیک‌تر شده است که نشان‌دهنده رفتار سودوپلاستیک‌تر این نمونه‌ها می‌باشد. Rossa و همکاران (2011) پیشتر، همین نتایج را در ارتباط با بستنی پرچرب گزارش کرده بودند. تقویت رفتار سودوپلاستیک، احتمالا به دلیل پیوندهای عرضی پروتئین‌ها و به وجود آمدن پلیمرهای با وزن مولکولی بالاتر به وسیله آنزیم ترانس‌گلوتامیناز می‌باشد. Innocente و همکاران (2002) بیان کردند که با افزایش سرعت برشی، مولکول‌های پلیمر بزرگ تمایل به جدا شدن و جریان یافتن دارند که در نتیجه مقاومت کمتری از خود نشان می‌دهند. نتایج حاکی از آن بود که با وجود رفتار جریانی مشابه تمامی نمونه‌ها، نمونه شاهد نیم‌چرب در تمام سرعت‌های برشی، کمترین میزان ویسکوزیته را دارا بود و با افزودن ترانس‌گلوتامیناز ویسکوزیته ظاهری افزایش یافت به‌گونه‌ای که نمونه حاوی 6 واحد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز دارای بیشترین ویسکوزیته ظاهری بود (شکل 3 و جدول 2). آنزیم ترانس‌گلوتامیناز توانایی تشکیل پلیمرهای با وزن مولکولی بالا از مونومرهای پروتئین را دارد که در نتیجه، مقاومت به جریان یافتن را افزایش می‌دهد (Gaspar & de Góes-Favoni، 2015). همچنین لازم به ذکر است که روند تغییرات ویسکوزیته نسبت به نرخ برش، در نمونه حاوی 6 واحد TG نسبت به نمونه‌های دیگر بالاتر بود (شکل 3). همانند ویسکوزیته ظاهری افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز ضریب قوام بستنی نیم‌چرب را نیز افزایش داد (جدول 2). که احتمالا در نتیجه افزایش پلیمریزاسیون پروتئین‌های شیر به‌وسیله آنزیم ترانس‌گلوتامیناز می‌باشد.

جدول 2- پارامترهای رئولوژیکی به‌دست آمده از مدل قانون توان برای بستنی نیم‌چرب شاهد و نمونه‌های تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز

نمونه	ویسکوزیته* (mPa. s)	ضریب قوام (Pa. s^n)	شاخص رفتار جریان	ضریب تعیین (R^2)
شاهد کم‌چرب	94±5 d	0/33±0/02 d	0/66±0/01 a	0/9982
2 واحد آنزیم TG	115±7 c	0/49±0/03 c	0/63±0/02 b	0/9934
4 واحد آنزیم TG	130±9 b	0/60±0/02 b	0/61±0/01 c	0/9956
6 واحد آنزیم TG	140±9a	0/67±0/01 a	0/60±0/02 c	0/9981

* ویسکوزیته در سرعت برشی 50 (ثانیه/1) گزارش شده است.

حروف انگلیسی متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری در سطح 95% می‌باشد



شکل 3- تاثیرسرعت برشی بر ویسکوزیته ظاهری بستنی نیم‌چرب شاهد و نمونه‌های تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز

بافت

سفتی

سفتی بستنی عبارت است از، میزان مقاومت بستنی به تغییر شکل، زمانی که یک نیروی خروجی استاندارد بر آن اعمال شود (Lim و همکاران، 2008). نتایج حاصل از آنالیز آماری نشان داد که بیشترین میزان سفتی مربوط به نمونه نیم‌چرب می‌باشد (جدول 3). سفتی یک از مشکلات اصلی بستنی‌های با چربی کاهش‌یافته می‌-

باشد. چربی با جلوگیری از تشکیل کریستال‌های یخ و به دنبال آن، ممانعت از ایجاد یک بافت زبر و شنی، نرمی مطلوب را برای بستنی فراهم می‌کند (Rossa و همکاران، 2012). نتایج نشان داد که در نتیجه تیمار آنزیمی شیر با ترانس گلوتامیناز، میزان سفتی بستنی‌های حاصله کاهش چشمگیری پیدا می‌کند (شکل 4). شایان ذکر است که غلظت 6 واحد آنزیم موجب افزایش سفتی محصول نسبت به نمونه‌های حاوی 2 واحد و 4 واحد آنزیم شد اما کماکان میزان سفتی آن از نمونه شاهد نیم‌چرب کمتر بود (شکل 4). El-Nagar و همکاران (2002) بیان کردند که تقویت شبکه پروتئینی موجب ایجاد یک امولسیون یکنواخت و پایدار می‌شود و از تشکیل کریستال‌های یخ جلوگیری می‌کند. اینگونه به‌نظر می‌رسد که تیمار آنزیمی ترانس-گلوتامیناز، با پلیمریزاسیون پروتئین‌های بستنی و ایجاد یک شبکه مستحکم پروتئینی و به دنبال آن افزایش ویسکوزیته مخلوط بستنی، منجر به کاهش کریستاله شدن یخ و در نتیجه کاهش سفتی بستنی می‌شود.

چسبندگی

چسبندگی به مقدار کار مورد نیاز برای غلبه بر نیروهای جاذب بین سطح ماده غذایی و سطح ماده‌ای که با آن در تماس است بر می‌گردد. این پارامتر به اثر ترکیبی نیروهای چسبندگی و پیوستگی و عوامل دیگری مثل ویسکوزیته و ویسکوالاستیسیته بستگی دارد (BahramParvar و همکاران، 2013). یافته‌های آماری نشان داد که افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز تا 4 واحد، موجب افزایش چسبندگی نمونه‌های بستنی می‌شود ولی بیش از آن، یک کاهش در میزان چسبندگی مشاهده شد. بررسی منابع نشان می‌دهد که مواد غذایی با ماتریس پروتئینی بازتر و ضعیف‌تر چسبندگی بیشتری دارند (Dimitreli & Thomareis، 2007). بر این اساس، اینگونه می‌توان انگاشت که آنزیم ترانس‌گلوتامیناز با ایجاد یک شبکه پروتئینی و حفظ هوای بیشتر در ساختار بستنی (اوران بیشتر) (شکل 1)، باعث ایجاد یک ماتریس غذایی بازتر و به دنبال آن، افزایش چسبندگی بستنی نیم‌چرب شده است. کاهش مشاهده شده در میزان چسبندگی نمونه تیمارشده با 6 واحد آنزیم را نیز می‌توان به کاهش اوران و فشرده‌ترشدن بافت بستنی در نتیجه تیمار با غلظت‌های بالای ترانس‌گلوتامیناز نسبت داد.

قوام

قوام بصورت کار مورد نیاز برای رسیدن به یک تغییر شکل مشخص تعریف شده است و شاخصی از قدرت پیوندهای درونی ماده است (BahramParvar و همکاران، 2013). یافته‌های آماری نشان داد که قوام نمونه‌های بستنی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس-گلوتامیناز از الگوی مشابهی با روند تغییرات سفتی پیروی کرده است به گونه‌ای که تا مقادیر 4 واحد آنزیم، قوام بستنی به صورت معنی-داری کاهش پیدا کرد، اما با افزایش غلظت آنزیم به 6 واحد، افزایش معنی‌داری در قوام بستنی نسبت به نمونه‌های حاوی 2 و 4 واحد آنزیم مشاهد شد. همانطور که پیش‌تر ذکر شد، احتمالا تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز با افزایش ویسکوزیته مخلوط بستنی، مانع از رشد کریستال‌های یخ در بستنی می‌شودکه در نتیجه آن نیروی کمتری برای غلبه بر پیوندهای درونی بستنی لازم است.

جدول 3- خصوصیات بافتی بستنی نیم‌چرب شاهد و نمونه های تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز

نمونه	سفتی (kg)	چسبندگی (kg.s)	قوام (kg.s)
شاهد کم‌چرب	36±4 [a]	0/40±0/02 [c]	288±15 [a]
2 واحد آنزیم TG	28±3 [b]	0/55±0/03 [b]	210±12 [b]
4 واحد آنزیم TG	20±2 [d]	0/75±0/02 [a]	157±9/5 [d]
6 واحد آنزیم TG	24±2[c]	0/58±0/01 [b]	188±11 [c]

حروف انگلیسی متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری در سطح 95% می‌باشد

ارزیابی حسی

نتایج حاصل ارزیابی حسی نمونه‌های مختلف بستنی در جدول 4 نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که تیمار آنزیمی شیر بستنی‌سازی با 2 یا 4 واحد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، منجر به تغییر معنی‌داری در میزان پذیرش طعم محصول نزد مصرف‌کننده نمی‌شود حال آنکه، نمونه‌های تیمار شده با 6 واحد آنزیم، کاهش چشمگیری را در مطلوبیت طعم تجربه کردند. این درحالیست که، هیچ‌کدام از غلظت‌های آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، باعث تغییر معنی‌داری در مطلوبیت رنگ بستنی نیم‌چرب نشدند. بررسی بافت نمونه‌های بستنی، بیانگر بهبود بافت بستنی نیم‌چرب در نتیجه افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بود به‌گونه‌ای که نمونه تیمار شده با بالاترین غلظت آنزیم، از بهترین مقبولیت بافت نیز برخوردار بود. در نهایت نیز نتایج امتیاز پذیرش کلی ارزیابی حسی نشان داد که نمونه بستنی حاوی 4 واحد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بیشترین مقبولیت را بین مصرف‌کنندگان کسب کرده

است.

جدول 4- ارزیابی حسی بستنی نیم‌چرب شاهد و نمونه‌های تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز

	طعم	بافت	رنگ	پذیرش کلی
شاهد نیم‌چرب	2/9 ± 0/4[a]	2/1 ± 0/5[c]	3/5 ±0/4[a]	2/5 ± 0/6[c]
2 واحد آنزیم TG	3/0 ± 0/5[a]	3/4 ± 0/5[b]	3/4 ±0/5[a]	3/4 ± 0/4[b]
4 واحد آنزیم TG	2/9 ± 0/3[a]	4/1 ± 0/4[a]	3/3 ±0/4[a]	3/9 ± 0/3[a]
6 واحد آنزیم TG	2/5 ± 0/3[b]	4/2 ± 0/4[a]	3/3 ± 0/5[a]	3/5 ± 0/3[b]

حروف انگلیسی متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری در سطح 95% می‌باشد

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزودن آنزیم ترانس-گلوتامیناز، مـی‌تـوان ویژگـی‌هـای کـاربردی، رئولـوژیکی، بـافتی و ارگانولپتیکی بستنی نیم‌چرب را بهبود بخشید. تیمار آنزیمی با ایجـاد یکه شبکه مستحکم پروتئینی، پایداری امولسیون و قابلیـت تشـکیل کف را بهبود بخشید و در نتیجه موجب اصلاح ویژگی‌هـای فیزیکـی شامل ضریب افزایش حجم و مقاومت بـه ذوب شـدن شـد. بررسـی پارامترهای رئولوژیکی نشان از کارایی آنزیم در افزایش ویسکوزیته و بهبود پارامترهای رئولوژیکی بستنی نیم‌چرب داشـت. نتـایج حاصـل بیانگر این موضوع بود که با استفاده از تیمار آنزیمی می‌توان بستنی با میـزان چربـی کـاهش‌یافتـه و خـواص کـاربردی، رئولـوژیکی و ارگانولپتیکی مطلوب تولید کرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی به شـماره 931/35 اسـت و نویسندگان از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه کشـاورزی و منـابع طبیعـی رامـین خوزسـتان بابـت حمایت هـای مالی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

Aime, D. B., Arntfield, S. D., Malcolmson, L. J. and Ryland, D., 2001, Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products, *Food Research International*, 34(23), 237-246.

Amiri, Z.R. and Ahmadi, M.E., 2014, the possibility of carboxy methyl cellulose and tragacanth gum on the physical and sensory properties of ice cream, *Journal of Food Research*, 24(2), 279-290.

AOAC, 2000, Official Methods of Analysis. 17th Ed, Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, *Maryland*, USA.

Bahramparvar, M. and Mazaheri Tehrani, M., 2011, Application and functions of stabilizers in ice cream, *Food Reviews International*, 27(4), 389-407.

BahramParvar, M., Tehrani, M. M. and Razavi, S. M., 2013, Effects of a novel stabilizer blend and presence of κ-carrageenan on some properties of vanilla ice cream during storage, *Food Bioscience*, 3, 10-18.

Bahramparvar, M., Haddad Khodaparast, M. H. and Razavi, S. M A., 2011, Effects of selected stabilizerson physicochemical and sensory characteristics of ice cream, *Food Processing and Production*, 1(1), 7-14.

Byars, J., 2002, Effect of a starch-lipid fat replacer on the rheology of soft-serve ice cream, *Journal of Food Science*, 67(6), 2177-2182.

Chegini, B. and Meshkat, A., 2007, Science and Technology of ice cream, Aeej Press, Pp. 87-179.

Daw, E. and Hartel, R. W., 2015, Fat destabilization and melt-down of ice creams with increased protein content, *International Dairy Journal*, 43, 33-41.

Dimitreli, G. and Thomareis, A. S., 2007, Texture evaluation of block-type processed cheese as a function of chemical composition and in relation to its apparent viscosity, *Journal of Food Engineering*, 79, 1364-1373.

El□Nagar, G., Clowes, G., Tudorică, C. M., Kuri, V. and Brennan, C. S., 2002, Rheological quality and stability of yog□ice cream with added inulin, *International Journal Of Dairy Technology*, 55(2), 89-93.

Farshadfar, s., Ranjbari, p., Javadian, sh. and Ghaderi, M., 2003, Quality Improvement of Dairy and Meat Products by Whey Products, *Fars Engineering Research Center* 2003; P. B.71555-414.

Gaspar, A. L. C. and de Góes-Favoni, S. P., 2015, Action of microbial transglutaminase (MTGase) in the modification of food proteins: A review, *Food Chemistry*, 171, 315-322.

Goff, H. D. and Hartel, R. W., 2013, Ice cream (7th Ed.). New York, NY, USA: Springer US.

Goff, H. D., V. J. Davidson, and E. Cappi., 1994, Viscosity of ice cream mix at pasteurization temperatures, *Journal Dairy Scince*. 77:2207–2213.

González-Tomás, L., Bayarri, S., Taylor, A. J. and Costell, E., 2008, Rheology, flavour release and perception of low-fat dairy desserts, *International Dairy Journal*, 18 (8), 858-866.

Innocente, N., Comparin, D. and Corradini, C., 2002, Proteose-peptone whey fraction as emulsifier in ice-cream preparation, *International Dairy Journal*, 12(1), 69-74.

Kaya, S. and Tekin, A. R., 2001, The effect of salep content on the rheological characteristics of a typical ice-cream mix, *Journal of Food Engineering*, 47: 59-62.

Lee, F. Y. and White, C. H., 1991, Effect of ultrafiltration retentates and whey protein concentrates on ice cream quality during storage, *Journal of Dairy Science*, 74, 1170-1180.

Lim, S. Y., Swanson, B. G., Ross, C. F. and Clark, S., 2008, High hydrostatic pressure modification of whey protein concentrate for improved body and texture of lowfat ice cream, *Journal of dairy science*, 91(4), 1308-1316.

Marshall, R. T. and Arbuckle, W. S., 2005, Ice cream, Torkashvand, Y., Tehran, Eta. Page 59, 49, 73, 96-98, 320.

Marshall, R.T., Goff, H.D. and Hartel, R.W., 2003, *Ice cream*, 6th Ed. New York: Springer.

Martinou-Voulasiki. I.S. and G. K. Zerfiridis., 1990, Effect of some stabilizers on textural and sensory characteristics of yogurt ice cream from sheep's milk, *Journal of Food Science*, 55 (3): 703-707.

Mortazavi, S. A., Ghods Rohani, M. and Jooyandeh, H., 1374, Technology of milk and dairy products, translation to Persian, Mashhad Ferdowsi University Press, Pp. 266.

Rodriguez-Nogales, J. M., 2006, Enhancement of transglutaminase-induced protein cross-linking by preheat treatment of cows' milk: a statistical approach, *International Dairy Journal*, 16(1), 26-32.

Rossa, N. R., Sá, E. M. F., Burin, V. M. and Bordignon-Luiz, M. T., 2011, Optimization of microbial transglutaminase activity in ice cream using response surface methodology, LWT-*Food Science and Technology*, 44, 29-34.

Rossa, P. N., Burin, V. M., and Bordignon-Luiz, T. M., 2012, Effect of microbial transglutaminase on functional and rheological properties of ice cream with different fat contents, LWT - *Food Science and Technology* 48, 224-230.

Wildmoser, H., Scheiwiller, J. and Windhab, E. J., 2004, Impact of disperse microstructure on rheology and quality aspects of ice cream, LWT- *Food Science and Technology*, 37(8), 881-891.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 4, Oct- Nov 2017, p. 469-479

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 4، مهر - آبان 1396، ص. 479-469

Effect of microbial transglutaminase on physical, rheological, textural and sensory properties of light ice cream

H. Jooyandeh[1*], E. Danesh[2], M. Goudarzi[3]

Received: 2015.11.27
Accepted: 2016.04.16

Introduction: Health-conscious consumers are interested in eating dairy products including ice cream with less fat. As a consequence, the dairy industry has developed a variety of reduced-fat ice cream products. However, quality aspects of many of these products do not meet consumer expectations for ice cream flavor, texture, and appearance. The formation of the ice cream structure is hindered when the fat content is reduced and attributes related to quality, such as viscosity, ice crystallization, hardness, melting rate and flavor, are affected. Low melting resistance, high firmness and undesirable flavor are the most cited defects in reduced-fat ice creams. Enzymatic treatment of reduced-fat milk with microbial transglutaminase has been found to improve the textural and sensory properties of the final dairy products. The transglutaminase enzyme (MTGase; protein-glutamine gamma glutamyl transferase, EC 2.3.2.13) catalyses “acyl” transfer reactions between γ-carboxyamide groups of glutamine residues (acyl donor) and the ε-amino group of lysines (acyl acceptor) in proteins, leading to inter- or intra-molecular cross-linking. The enzyme-catalyzed cross-linking of milk proteins results in the formation of high molecular weight polymers that not only are able to lower the melting rate thorough increasing the viscosity of ice cream mix, but they could also provide a smoother texture for the product by mechanically obstructing ice crystal growth. However, the extensive cross-linking of milk proteins may even adversely affect the physical properties of the resultant ice cream and thus, the added amount of enzyme needs to be adequate for the desired effects. The aim of this study was to investigate the effects of different concentrations of TGase enzyme on physical and sensory properties of light ice cream in order to selct the appropriate amount of enzyme concentration that provides the best results.

Materials and methods: The light ice cream (5% w/w fat) was treated with different concentrations of TGase enzyme (2, 4 and 6 units/g milk protein). The enzyme-treated samples were investigated for flow behavior characteristics (apparent viscosity, flow index, consistency index), overrun, melting rate, hardness and sensory properties (flavor, texture, color and total acceptability) in comparison with control light ice cream with no added Tgase.

Results and discussion: The results revealed that TGase treatment effectively increased the viscosity of light ice cream.The higher the enzyme concentration, the greater the viscosity of ice cream samples. This could be attributed to TGase-catalyzed formation of large protein polymers in ice cream mix that resist to flow. All enzyme-treated ice cream mixes exhibited shear-thinning behavior, where the viscosity decreased with increasing shear rate. The power law model was used to find consistency and flow indices for different treatments. The results showed that consistency index increased and flow behavior index decreased with TGase concentration. The stronger shear-thinning behavior (lower flow index) of the samples treated with higher concentration of TGase might be arisen from formation of higher number of large protein polymers in theses samples, which decrease in size during shearing. The enzyme treatment significantly increased the overrun of the light ice cream that could be due to the increasing effect of TGaes on the viscosity. The increase in viscosity promotes the retention of air in the ice cream which is concomitant with increased overrun; however, high viscosity reduces the whipping rate leading to lower incorporation of air into the ice cream and thus decreased overrun. This may account for significantly lower overrun of the light ice cream treated with 6 units TGase/g milk protein than the samples treated with 4 units TGase /g milk protein. It was observed that the enzyme treatment caused a significant improvement in melting resistance of light ice cream. In fact, the light ice cream treated with 6 or 4 units TGase /g milk protein took the longest time to melt, followed by the samples treated

1 And 2. Associate Professor and M.SC., Department of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
3. M.SC., Department of Food Science, Technology & Engineering, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
(*Corresponding Author Email: email: hosjooy@yahoo.com)

with 2 and 0 units TGase /g milk protein. This is somehow in accordance with the results of overrun; that is, the ice cream with higher overrun melted slower attributed to a reduced rate of heat transfer due to a larger volume of air. The overrun could also affect the hardness of ice cream as evidenced by the results of the present study. The results showed that the samples with greater overrun were softer. It could be assumed that the air cells, together with large protein polymers formed via catalytic action of TGase, limited the size of ice crystals by exerting mechanical hindrance, providing a softer texture for the enzyme-treated ice creams. Not surprisingly, the enzyme treatment did not considerably influence the flavor of light ice cream albeit the sample treated with 6 units TGase /g milk protein received significantly lower score than the other samples. Conversely, the color of enzyme-treated samples was more appreciated by consumers than the sample without added TGase possibly because of light scattering properties of enzymatically formed protein polymers in theses samples. Consistent with the results of physical properties, the texture of light ice cream treated with 4 or 6 units TGase /g milk protein were ranked as the most desirable samples, followed by the samples treated with 2 and 0 units TGase /g milk protein. The order of light ice cream samples for total acceptability scores was the same as that for texture scores with the exception of the sample treated with 6 units TGase /g milk protein whose total acceptability score was lower than the sample treated with 4 units TGase /g milk protein.

Keywords: Light ice cream, Microbial transglutaminase, Flow behavior, Hardness, Overrun, Melting resistance